

## 2륜 조향 전기자동차용 전자 차동장치 모델 설계

장현탁\*

\*아주자동차대학교 미래자동차공학부

e-mail:wslong@motor.ac.kr

### Model Design of Electronic Differential System for 2WD Electric Vehicle

Hyun-Tak Jang\*

\*Division of Mobility Engineering, Ajou Motor University

#### 요 약

전기자동차는 ICE 자동차와 다르게 여러 개의 전기 모터를 사용하여 다중 구동 장치를 다양하게 구성할 수 있다. 기계식 차동장치를 대신하여 다중 구동 장치의 형태인 전기자동차 전자식 차동장치 기능 포함하면 구동력 제어에 복잡하고 정밀함이 필요하다. 코너링 시 내부 바퀴는 외부 바퀴보다 더 작은 회전 반경으로 서로 다른 속도로 회전되어 미끄럼이 없는 안정성이 요구된다. 액커먼-장토 조향 기하학을 기반으로 다중 구동 장치인 모터제어 구동력과 방향 제어의 기능이 요구된다. 전자식 차동장치 모델은 2 구동 모터 토크, 속도 제어에 제어 효율성과 높은 정확성으로 개발되었고 Matlab/Simulink 적용이 가능하다.

으로 기계 부품의 단순화를 위한 새로운 가능성이 있다. 특히, 두 개의 앞바퀴를 개별적이고 독립적으로 구동하는 EV 구성은 기계적 변속장치, 차동장치, 등속조인트 등 요소를 단순화하여 공차중량을 줄이고 패키지의 유연성을 제공한다.

기계식 차동장치를 EV에 사용할 수 없으므로 전자식 차동장치는 전기 자동차 연구 분야이다. 전기 자동차에 사용되는 다중 구동 시스템은 구동 모터 제어를 추가로 구성하여 전자식 차동 효과를 제공한다. 즉, 독립적 기계적 차동장치의 속도 제어는 유사하게 독립적인 두 개 구동 모터의 속도 제어로 전자식 차동 효과는 실현된다. 따라서 전자식 차동장치는 코너링 시 두 바퀴 사이의 속도 차이를 2 륜 구동 독립적으로 토크를 빠르게 생성하고 속도를 제어하고 회생 제동 시 용량이 증가한다. 그러나 다중 구동 모터 드라이버 등 복잡한 제어 장치, 제어 모델이 필요하다.

전기 구동 바퀴는 간단한 변속 메커니즘, 구동 바퀴 토크의 독립적이고 정밀한 제어라는 장점이 있으며 차량 조향 역학, 구동 토크 분배 및 주행 안전에 상당한 장점이 있다.

자동차 조향장치 기초인 Ackermann-Jeantaud 기

#### 1. Introduction

전기 자동차는 미래의 교통수단이다. 전기 이동성은 에너지 전환의 필수적인 부분이 되었다. 교통시장과 소비자는 더 저렴한 개인 교통수단이 필요하며, 그에 더해 정부도 정책을 통해 전기 자동차를 지원하고 있다. 전기 자동차는 대기 오염을 줄이고 차량에 전력을 공급하기 위한 화석 연료 의존도를 줄이는 가장 좋은 방법이다. 그러나 EV는 축전지 장치의 제한된 에너지와 긴 충전 시간과 관련된 문제가 있다. 이러한 문제는 EV의 모든 장치의 작동에서 에너지 효율을 높이기 위한 새로운 과제이다.

자동차 차동장치는 도로에서 동력과 토크를 구동 바퀴에 균등하게 분배한다. ICE 자동차는 기계적 차동장치를 장착한다. 차동장치 기능이 없다면, 곡선 도로 주행, 차선 변경, 좌우 바퀴의 노면 마찰 계수가 다른 도로 주행 시 안전하지 않은 주행, 연료 소비 증가 및 타이어 마모를 유발한다. 따라서 곡선 도로를 주행하는 차량의 경우 내부 바퀴의 속도는 외부 바퀴의 속도와 차이가 있다.

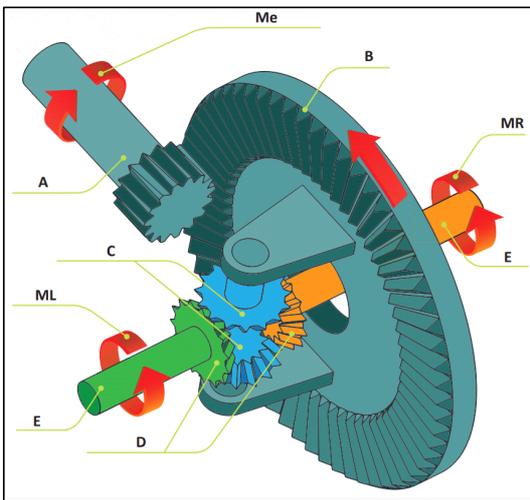
ICE 자동차와 달리 EV 구동 장치는 다양한 구성

하학을 이용하여 조향 과정을 모델링 하고 기계식 차동장치 기능을 다중 구동 장치의 구조와 EV 주행 조건에 맞게 구동 토크를 분배하고 모터의 속도와 차량 속도를 제어하여 차동 효과가 실현되는 전자식 차동장치의 제어 모델 설계한다.

2. 기계 차동장치

자동차 차동장치는 1825년 프랑스 엔지니어인 Onesiphore Pecqueur가 발명했으며 폭스바겐에 처음 장착되었으며, 그 이후로 계속해서 자동차에 사용되고 있다. 자동차에서 차동장치는 세 가지 주요 기능을 한다. 엔진에서 구동 바퀴로 토크를 전달하고, 바퀴의 각속도를 개별적으로 보장하며, 차축 구동 장치와 함께 기어 감속 장치 역할이다.

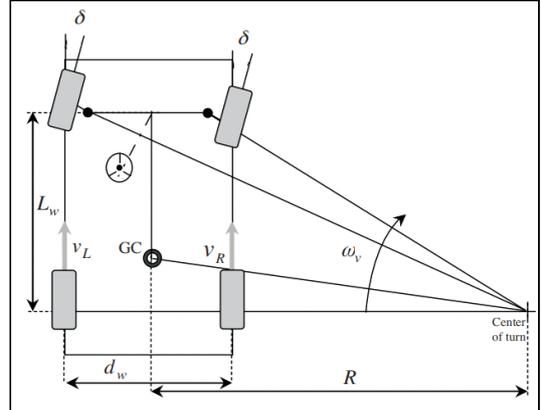
자동차가 커브 도로 또는 울퉁불퉁한 도로를 주행할 때 구동 바퀴는 서로 다른 거리를 이동합니다. 자동차가 회전할 때 좌우 윤거 때문에 회전 반경은 좌우 바퀴의 회전 반경이 다르다. 따라서 두 바퀴가 엔진에서 같은 힘(토크)을 받았다면 그에 따라 회전 속도도 같을 것이다. 이런 조건에서는 바퀴 중 하나가 미끄러질 수밖에 없습니다. 하지만 바퀴 사이에 차동 장치를 설치하면 엔진에서 힘을 분산시켜 바퀴 속도를 다르게 할 수 있다. 따라서 바퀴는 서로 독립적으로 필요한 속도로 작동한다. Fig.1은 차동기어의 구조를 보여준다. 차동기어는 모두 유성기어를 기본으로 한다. 차동기어는 회전 운동의 기계적 전달 장치로 기어비에 따라서 입력 각속도 및 토크를 동일한 회전축에 차동 피니언기어를 사용하여 좌우 구동축에 독립적으로 변경, 추가 및 분배한다.



[Fig. 1] Differential Gear

3. 전자식 차동장치 모델링

전자식 차동 장치는 직선 궤적에서 두 바퀴 구동 장치가 정확히 동일한 속도로 회전하고 곡선 궤적에서 두 휠 속도의 차이가 곡선 위의 차량 궤적이 동심원을 그리고 한 점에 위치한다.



[Fig. 2] Electronic differential

각 좌우바퀴의 선형속도는 EV 각속도와 회전 반경의 함수로 표현된다.

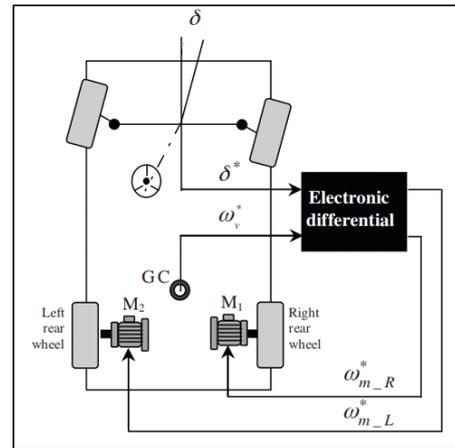
$$v_L = \omega \left( R + \frac{d_w}{2} \right) \tag{1}$$

$$v_R = \omega \left( R - \frac{d_w}{2} \right) \tag{2}$$

자전거 모델로 근사화하여, 조향각 $\delta$ , 회전반경 R, 축간거리  $L_w$  관계를 이용하면 다음식을 얻는다.

$$\tan \delta = \frac{L_w}{R} \omega \tag{3}$$

두 개의 뒤 바퀴가 독립적으로 두 개 구동 모터로 직접 구동되므로 곡선의 바깥쪽 바퀴 속도는 안쪽 바퀴 속도보다 빠르다. 물론 그 반대의 경우도 만족한다. 이때 타이어가 회전 시 견인력을 유지한다.



[Fig. 3] Design model for vehicle curve path

식(3)을 식(1), 식(2)에 대입하여 정리하면 각 바퀴의

각속도는 다음과 같은 식을 얻는다.

$$\omega_{lR} = \frac{L_w + \frac{1}{2}d_w \tan \delta}{L_w} \omega_v \quad (4)$$

$$\omega_{rR} = \frac{L_w - \frac{1}{2}d_w \tan \delta}{L_w} \omega_v \quad (5)$$

식(4)와 식(5) 관계식으로부터 회전각속도 차이를 구하면 다음과 같다.

$$\Delta \omega = \omega_{lR} - \omega_{rR} = \frac{d_w \tan \delta}{L_w} \omega_v \quad (6)$$

조향각의 좌우방향에 따른 좌회전, 우회전, 직진은 다음을 기준으로 한다.

$$\begin{aligned} \delta > 0 & : \text{우회전} \\ \delta = 0 & : \text{직진} \\ \delta < 0 & : \text{좌회전} \end{aligned} \quad (7)$$

EV가 곡선도로를 진입을 시작할 때 운전자는 핸들에 조향각을 입력하면 전자 차동장치는 두 개 구동 모터에 안쪽바퀴의 각속도는 줄이고 바깥쪽 바퀴의 각속도는 높이며 제어한다.

$$\omega_{lR}^* = \omega_v + \frac{\Delta \omega}{2} \quad (8)$$

$$\omega_{rR}^* = \omega_v - \frac{\Delta \omega}{2} \quad (9)$$

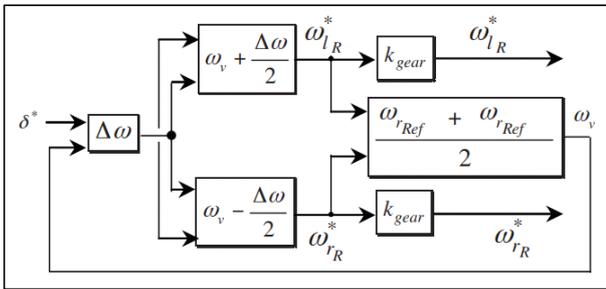
두 개 좌우 바퀴의 구동모터의 기준 각속도는 다음과 같다.

$$\omega_{lm}^* = k_{gear} \omega_{lR}^* \quad (10)$$

$$\omega_{rm}^* = k_{gear} \omega_{rR}^* \quad (11)$$

여기서  $k_{gear}$  기어비

위의 얻어진 식을 이용하여 전자 차동장치의 블록선도를 작성하면 다음과 같다.



[Fig. 4] Block diagram of electrical differential

#### 4. 결론

에커먼-장토 조향 기하학을 기반으로 다중 구동 장치인 모터제어 구동력과 방향 제어의 기능이 요구된

다. 전자식 차동장치 모델은 2륜 구동 모터 토크, 각속도 제어에 제어 효율성과 높은 정확성으로 개발되었고 Matlab/Simulink 적용이 가능하다.

#### 참고문헌

[1] Nadir Bouchetata, "Behavior Modeling and Simulation of Double Wheeled Electric Vehicle Drive," Electrical Review, ISSN 0033-2097, R. 88 NR 10a/2012